

Выводы

Получены следующие результаты:

- произведён анализ схем вентиляции рудника на разных этапах строительства системы воздухоподготовки;
- выявлены особенности представленных схем;
- определены причины опрокидывания воздушной струи и проникновения воды в горные выработки в холодное время года;
- произведён расчёт величины депрессии естественной тяги;
- определена оптимальная температура подаваемого в рудник воздуха;
- представлен рекомендуемый график регулирования параметров ГКУ для последующего устойчивого проветривания рудника в холодное время года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреичев А.Н. Разработка калийных месторождений. – М.: Недра, 1966. – 255 с.: ил.
2. Газизуллин Р.Р., Кормщиков Д.С. Исследование местных аэродинамических сопротивлений подземной части рудника в реверсивном режиме проветривания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 8. – С. 157-161.
3. Колесов Е.В., Казаков Б.П., Семин М.А. Моделирование теплообмена между крепью шахтного ствола и проходящим по стволу воздухом в условиях смешанной конвекции // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2021. – № 5. – С. 160-171. – DOI: 10.15372/FTPRPI20210515.
4. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – 5-е изд., доп. – М.: Атомиздат, 1979. – 415 с.: ил.
5. Бурчаков А.С., Мустель П.И., Ушаков К.З. Рудничная аэрология: учебник. – М.: Недра, 1971. – 373 с.: ил.
6. Алехичев С.П., Калабин Г.В. Естественная тяга и тепловой режим рудников: (на примере Кольск. севера). – Л.: Наука, 1974. – 110 с.: ил.
7. Бородавкин Д.А., Попов М.Д. Исследование параметров работы калориферной установки рудника СКРУ-1 // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2017. – № 1. – С. 360-363.
8. Левин Л.Ю. Исследование и разработка энергосберегающих систем воздухоподготовки для рудников: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20; защищена 27.10.04 / Левин Лев Юрьевич. – Пермь, 2004. – 170 с.
9. Зайцев А.В. Научные основы расчета и управления тепловым режимом подземных рудников: дис. ... д.т.н.; 25.00.20: защищена 23.05.19 / Зайцев Артем Вячеславович. – Пермь, 2019. – 247 с.

УДК 622.41

DOI:10.7242/echo.2025.2.10

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ГАЗОВЫХ СЪЁМОК В РАБОЧИХ ЗОНАХ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

А.Н. Стариков

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе исследованы недостатки действующей методики оценки газообильности рабочих зон на калийных рудниках. Установлено, что традиционный метод отбора проб рудничного воздуха в протяженных рабочих зонах подвержен воздействию ряда факторов, которые способны приводить к заниженным значениям показателя относительной газообильности и требуемого объема воздуха. Экспериментально подтверждено, что под влиянием этих факторов наблюдается снижение концентрации горючих газов от забоя до устья тупиковой рабочей зоны. Рассмотрены возможные погрешности при расчёте относительной газообильности. На основании полученных результатов предложена новая методика отбора проб рудничного воздуха для расчёта относительной газообильности рабочих зон по горючим газам, учитывающая выявленные недостатки.

Ключевые слова: рудничный воздух, отбор проб, относительная газообильность, горючие газы, хроматография, концентрация газа, калийный рудник, система вентиляции.

При разработке калийных рудников выделяются горючие газы (водород, метан) [1], способные создать взрывоопасную среду. Чтобы предотвратить такую опасность, рабочие зоны постоянно проветриваются свежим воздухом [2], который затем отводится вместе с газовыми примесями. Для обеспечения безопасности труда на калийных рудниках Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (ВМКМС) регулярно проводится оценка состояния газовой среды путем ежегодных газовых съемок, определяющих относительную газообильность рабочих зон по горючим газам и объем воздуха, необходимый для его разбавления. Относительную газообильность характеризует объем выделившегося газа относительно одной тонны добытой руды [3]. Расчет требуемого объема воздуха для обеспечения вентиляции рабочих зон на калийных рудниках Старобинского месторождения осуществляется на основе показателей газоносности разрабатываемого пласта [4]. На иностранных калийных рудниках такие расчеты преимущественно основаны на непосредственных замерах концентрации газа и последующем его разбавлении до регламентированных пределов допустимых концентраций. В процессе проектирования вентиляции калийных рудников приоритетное значение имеют показатели прогнозируемой газоносности разрабатываемого пласта, а также сведения о выделениях газа на смежных участках месторождения [5]. Эти данные позволяют оценить потенциальную газовую опасность и спроектировать систему вентиляции.

Увеличение объемов извлечения калийной руды обусловлено внедрением на рудниках высокопроизводительных добычных комплексов, смещением границы разработки шахтных полей и ростом числа одновременно действующих добычных участков. Эти обстоятельства неизбежно усложняют газовую обстановку в рабочих зонах. Увеличение протяженности и объема отработанного пространства влияет на процессы накопления и удаления газов из рабочих зон [6]. Сегодня на одном из рудников ВМКМС для поддержания проектной производительности ведется разработка дополнительного участка, прилегающего к шахтному полю. Освоение данного участка предполагает до восемнадцати одновременно функционирующих рабочих зон с удалением от вентиляционного ствола порядка двенадцати километров. При разработке исходных данных для проектирования системы вентиляции данного участка был выполнен расчет количества требуемого воздуха по газовому фактору. Расчет проводился согласно ранее изложенному подходу, используя данные непосредственно измеренных показателей газоразделения в рабочих зонах сопряженного очистного участка наряду с характеристиками газоносности разрабатываемого пласта. При этом было установлено, что расчетные значения количества воздуха, основанные на значениях относительной газообильности, оказались на порядок ниже, чем значения рассчитанные по газоносности. Данный факт позволяет предположить наличие систематической погрешности в процессе измерений либо влияние специфических технологических условий и особенностей накопления газа, оказывающих существенное воздействие на точность определения относительной газообильности в условиях протяженных рабочих зон. Среди технологических факторов выделяется воздействие обнаженного калийного массива на качественный состав атмосферной среды, ввиду его гигроскопичности и сорбционных свойств [7]. Кроме того, существенную роль играет наличие в рабочих зонах гибких вентиляционных трубопроводов, функционирующих под избыточным внутренним давлением, способствующих возникновению из них утечек воздуха в горную выработку, что также влияет на газораспределение в пределах рабочих зон [8]. Дополнительно стоит учитывать возможные погрешности, такие как учет производительности добычного оборудования в момент отбора пробы, показатель которой участвует при расчете относительной газообильности. Описанные факторы могут уменьшать концентрацию газов вдоль вентиляционного потока. Правильное установление зоны отбора проб важно для точного расчета количества воздуха, необходимого для безопасной работы шахтёров и эффективной дегаза-

ции. Таким образом, цель настоящей работы заключается в совершенствовании подхода к определению относительной газообильности с учетом технологических факторов, способных оказывать влияние на результаты измерений.

Сегодня для определения относительной газообильности рабочей зоны на калийных рудниках, используемой для расчета необходимого объема воздуха, проводятся ежегодные газовые съемки. Газовая съёмка включает отбор воздушных проб и выполнение сопутствующих замеров во входящих потоках воздуха до вентилятора местного проветривания, а также в исходящих потоках на выходе из рабочей зоны (у устья камеры). Места отбора проб воздуха выбирались исходя из границ рабочих зон, где находятся горнорабочие.

Воздух, перемещающийся от забоя до устья камеры, может подвергаться изменениям микроклиматических параметров и химического состава вследствие влияния массива горных пород, взвешенных пылевых частиц и возможных утечек вентиляционного трубопровода. Это создаёт предпосылки для увеличения риска неравномерного распределения газа с ростом протяжённости выработки, что способно сказаться на результатах анализа. В рамках работы был проведён шахтный эксперимент, нацеленный на оценку степени изменения концентрации газа в исходящей струе воздуха по длине тупиковой рабочей зоны от забоя до ее устья. Экспериментальные исследования в шахтных условиях выполнялись в соответствии с методикой, указанной в [9]. В указанной работе выполнялась оценка изменения концентрации газа в пределах тупиковых рабочих зон, однако тогда не проводились измерения расхода воздуха в точках отбора проб. В контексте представленного эксперимента учет воздуха, проникающего в горную выработку в виде утечек из вентиляционного трубопровода, обеспечивает возможность оценки доли вклада указанного фактора в формирование газового баланса в пределах тупиковой рабочей зоны. В ходе эксперимента выполнялся отбор проб для определения концентрации горючих газов (сумма концентрации метана и водорода). Пробы отбирались трижды в каждой из трех контрольных точек по длине камеры (у забоя, посередине и вблизи устья). Изменение концентрации газа представлено в форме диаграммы на рисунке 1.

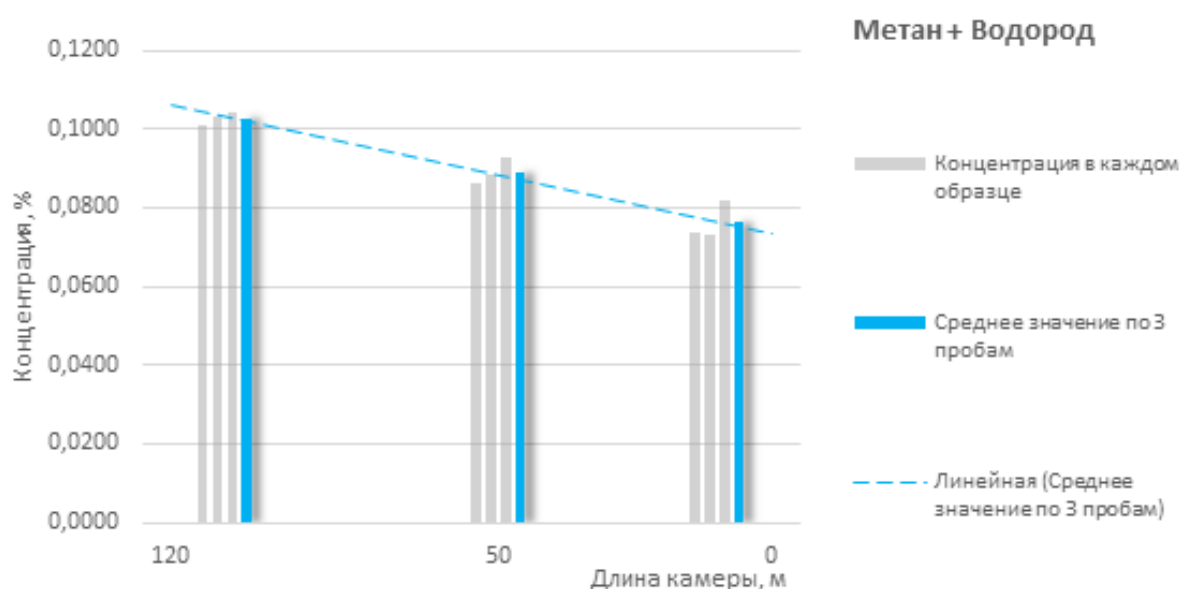


Рис. 1. Изменение концентрации газа по длине камеры

Полученные результаты свидетельствуют о снижении концентрации горючих газов от забоя к устью камеры приблизительно на четверть (25%). Уменьшение концентрации газовых примесей может быть вызвано комплексом факторов, указанных ранее.

Важно отметить, что при пропорциональном уменьшении концентрации газа и повышение объема воздуха в контрольных точках показатель относительной газообильности не должен меняться. Для оценки объема проходящего воздуха при отборе проб в точках одновременно осуществлялись измерения расхода воздуха. Замеры показали постоянное значение объема воздуха по всей длине исследуемой рабочей зоны. Однако согласно технической документации измерительного оборудования величина абсолютной погрешности на измеряемых величинах составляет $\pm(0,03+0,02 \times 0,46)$ м/сек, что соответствует около $\pm 8\%$. Кроме того, при расчете количества воздуха подаваемого в забой, применяют коэффициент, учитывающий утечки воздуха гибкого трубопровода, который составляет 1,1 для 130 метров длины при отсутствии локальных повреждений. При выполнении замеров локальных повреждений на вентиляционном трубопроводе не обнаружено, следовательно, влияние фактора утечек вентиляционного трубопровода при проведении эксперимента, учитывая погрешность прибора и максимальные нормативные утечки воздуха, могло привести к снижению концентрации исследуемого газа от забоя до устья камеры не более чем на десять процентов. Оставшаяся доля уменьшения концентрации (15%) обуславливается совокупностью иных физико-химических факторов, таких как сорбционная активность взвешенных солевых частиц и аэроионная обстановка, изучение которых требует проведения дополнительных исследований.

Следующим фактором, оказывающим влияние на значение показателя относительной газообильности, является производительность добычного оборудования, фиксируемая при проведении отбора проб и учитываемая при расчете относительной газообильности. Расчет сегодня производится исходя из среднего объема газа в точке отбора и количества добытой руды за период продолжительностью 180 минут,

$$g = 180 (I_{\text{сриск}} - I_{\text{св}}) / \Sigma A, \text{ м}^3/\text{т} \quad (1)$$

где ΣA – суммарное количество руды, отбитое комбайновым комплексом в течение 3 часов, когда производились замеры. При разовом заборе проб не учитывается время простоя добычного оборудования, вследствие чего объем добычи руды за трехчасовой период колеблется в диапазоне от 100 до 600 тонн и более, зависимо от длительности эксплуатации комбайнового комплекса. Соответственно, расчетное значение требуемого количества воздуха при различных уровнях добычи может значительно колебаться. Поэтому использование указанного метода расчета требует непрерывного отбора проб в течение всего периода (180 мин). Расчет относительной газообильности и требуемого объема воздуха при концентрации горючих газов в устье камеры ($I_{\text{сриск}} - I_{\text{св}}$), равной 0,1, % об., и различного суммарного объема добычи руды за 180 минут приведен в таблице 1.

Таблица 1

Расчет количества воздуха по газообильности

Количество добытой руды за 180 мин, тонн	Относительная α газообильность, м /т	Расход воздуха для проветривания, м /мин
100	0,369	258
600	0,062	43

При осуществлении единовременного отбора проб воздуха правильнее применять паспортную производительность комбайна, тонн/мин, однако данная величина также подвержена влиянию ряда факторов и способна изменяться в пределах от 2 до 8 тонн/мин, вследствие чего расчетное количество воздуха также будет существенно различаться.

Результаты проведенного шахтного эксперимента показывают уменьшение содержания газовых примесей в атмосфере тупиковой камеры по длине от забоя к устью. Дополнительно установлено, что изменения объемов добываемой руды в период взятия образцов приводят к существенным отклонениям показателей относительной газообильности. Следовательно, отбор проб воздуха в устье камеры протяженных рабочих зон для определения относительной газообильности, а также учет суммарной производительности добычного оборудования может исказить реальную картину газовыделений в призабойном пространстве рабочей зоны и привести к неправильному расчету требуемого количества воздуха, что может негативно сказаться на безопасности горных работ. На основании представленных наблюдений разработаны предложения по совершенствованию методики отбора проб рудничного воздуха и вычисления показателя относительной газообильности протяженных рабочих зон.

В соответствии с предлагаемыми изменениями, отбор проб воздуха осуществляется непосредственно в призабойной зоне вблизи добычного оборудования. Отбор проб в призабойном пространстве на расстоянии не менее десяти метров от среза вентиляционного трубопровода обеспечит исключение попадания свежего воздуха в отбираемую пробу и минимизирует влияние внешних факторов на химический состав отбираемого воздуха. В соответствии с предложенными изменениями, принципиальные места отбора проб для определения относительной газообильности рабочих зон представлены на рисунке 2.

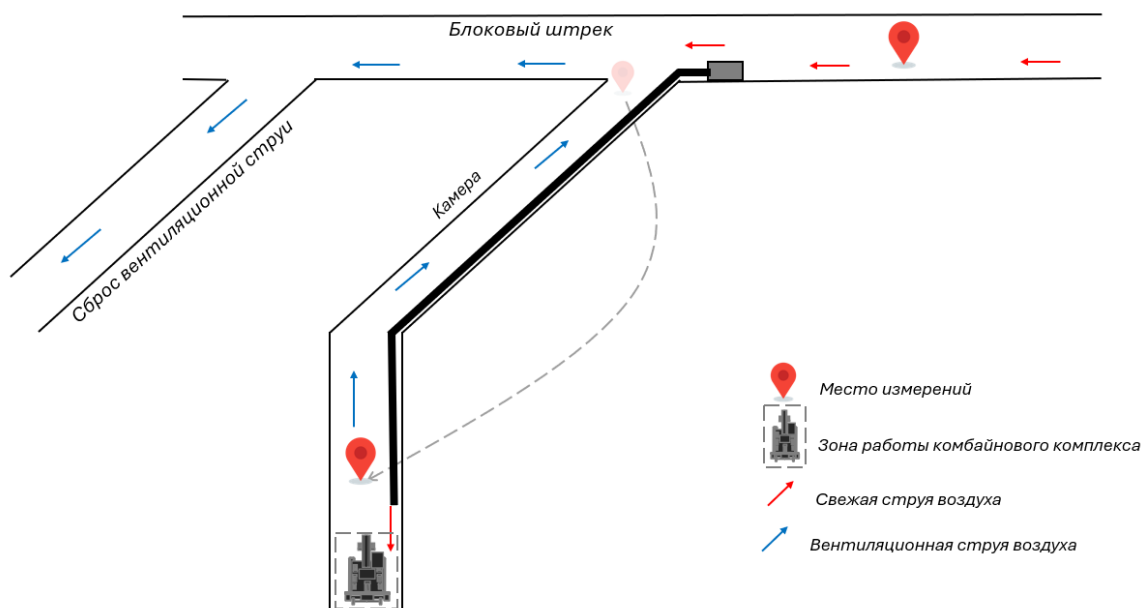


Рис. 2. Схема отбора проб воздуха

Дополнительное усовершенствование методики предусматривает использование фактической производительности добычного оборудования непосредственно в момент взятия пробы воздуха взамен ранее применявшейся суммарной производительности, что позволит снизить погрешность при вычислении показателя относительной газообильности рабочих зон. Таким образом, при расчете относительной газообильности рабочей зоны с учетом фактической производительности добычного оборудования используется следующая формула:

$$g = (I_{\text{сриск}} - I_{\text{св}}) / A_{\text{факт}}, \text{ м}^3/\text{т} \quad (2)$$

где $A_{\text{факт}}$ – фактическая производительность добычного оборудования. Фактическую производительность возможно оценить по времени наполнения бункера перегружателя, а также по пройденному расстоянию.

В работе рассмотрен применяемый подход к отбору проб рудничного воздуха на рудниках ВМКМС. Определены ключевые ее недостатки. Реализован эксперимент в шахтных условиях для изучения специфики распределения газа в пределах рабочих зон. Эксперимент показывает снижение концентрации газа в вентиляционной струе от забоя до устья камеры. Так, в тупиковой камере протяженностью 120 м зафиксировано снижение массовой концентрации горючих газов примерно на четверть. Проведена оценка точности учёта технологических параметров при расчёте показателя относительной газообильности, а также осуществлено сопоставление полученных расчётных значений объёма воздуха с учётом действующих и предложенных критериев. По итогам проведенных испытаний доработан подход к отбору проб рудничного воздуха, учитывающий особенности распределения газа и текущих технологических процессов в рабочих зонах рудников ВМКМС. Улучшения процедуры отбора проб минимизируют влияние внешних факторов, снизят погрешность расчетов и повысят эффективность вентиляции рабочих зон. Дальнейшая работа предполагает расширение исследований указанным методом для накопления необходимого объёма статистики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутузов Д.М. Компонентный состав свободных газов соляных пород Верхнекамского месторождения калийных солей // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых – 2016. – № 1. – С. 238-240.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТИЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
3. Исаевич А.Г., Стариков А.Н., Мальцев С.В. Совершенствование метода отбора проб воздуха для определения относительной газообильности горючих газов в рудничной атмосфере // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 4. – С. 143-153. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-4-0-143.
4. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при разработке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей // Науч. исслед. и инновации. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 34-37.
5. Иванов О.В., Харин Д.К. Построение прогнозной карты газоносности сильвинитовых пород по свободным газам на новом участке шахтного поля калийного рудника // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2024. – № 1. – С. 603-609.
6. Семин М.А., Исаевич А.Г., Трушкова Н.А., Бублик С.А., Казаков Б.П. К вопросу о расчете распространения вредных примесей в системах горных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 2. – С. 82-93. – DOI: 10.15372/FTPRPI20220208.
7. Суханов А.Е., Бруев Н.А., Газизуллин Р.Р., Стариков А.Н. Исследование сорбционных свойств солей на примере газов, содержащихся в атмосфере калийных рудников // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2023. – № 1. – С. 495-507. – DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-495-507.
8. Газизуллин Р.Р., Исаевич А.Г., Левин Л.Ю. Численное моделирование процессов выноса вредных примесей рудничной атмосферы при проветривании тупиковых выработок различными способами // Науч. исслед. и инновации. – 2011. – Т. 5, № 2. – С. 127-129.
9. Стариков А. Н., Мальцев С. В., Суханов А. Е. Влияние сорбционных свойств калийных солей на газовую обстановку в тупиковых горных выработках // Горные науки и технологии. – 2025. – Т. 10. – № 1. – С. 25-33. – DOI: 10.17073/2500-0632-2024-01-210.